

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Studijní program B2341 – Strojírenství

Materiály a technologie
zaměření strojírenská metalurgie

Katedra strojírenské technologie
Oddělení strojírenské metalurgie

Nové metody výroby odlitků pro automobilový průmysl New methods of casting for the automotive industry

Lukáš Jenčovský

KSP – SM – B34

Vedoucí bakalářské práce: Prof. Ing. Iva Nová, CSc.

Konzultant bakalářské práce: Ing. Jiří Machuta, Ph.D.

Rozsah práce a příloh:

Počet stran: 38

Počet tabulek: 2

Počet obrázků: 18

Datum: 27. 5. 2011

A N O T A C E**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI****Fakulta strojní****Katedra strojírenské technologie****Oddělení strojírenské metalurgie**

Studijní program	B2341 Strojírenství
Student:	Lukáš Jenčovský
Téma práce:	Nové metody výroby odlitků pro automobilový průmysl New methods of casting for the automotive industry
Číslo BP:	KSP – SM – B34
Vedoucí BP:	Prof. Ing. Iva Nová, CSc. – TU v Liberci
Konzultant BP:	Ing. Jiří Machuta, Ph.D. - TU v Liberci

Abstrakt:

Cílem bakalářské práce je porovnat stávající způsoby výroby odlitků s novými perspektivními metodami výroby odlitků pro automobilový průmysl. Především běžně používané slitiny pro výrobu vysoce namáhaných dílů, jako bloky a hlavy motorů osobních automobilů. Hodnotit strukturu a mechanické vlastnosti u odlitků litých s krystalizací pod tlakem, nebo litých v polotuhém stavu.

Abstract:

The aim of this work is to compare the existing methods of casting the promising new methods of casting for the automotive industry. First of all commonly used alloys for the manufacture of highly stressed parts such as engine blocks and heads of private cars. Assess the structure and mechanical properties of castings cast with crystallization under pressure, or cast into semi-solid state.

Místopřísežné prohlášení:

Místopřísežně prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury.

V Liberci, 27. května 2011

.....
Lukáš Jenčovský
Jeřice 25
508 01 Hořice

Poděkování

Děkuji své vedoucí bakalářské práce paní prof. Ing. Ivě Nové, CSc. a konzultantovi Ing. Jiřímu Machutovi, Ph.D. za cenné rady a připomínky, které přispěly k jejímu vytvoření.

OBSAH

1. ÚVOD.....	8
2. KRYSTALIZACE KOVŮ A SLITIN	9
2.1 Homogenní a heterogenní nukleace	10
2.2. Specifika krystalizace při zvýšeném tlaku	14
3. PŘEHLED SLÉVÁRENSKÝCH SLITIN.....	16
3.1 Slitiny hliníku	16
3.1.1 Rozdělení slitin hliníku	19
4. CHARAKTERISTIKA STÁVAJÍCÍCH ZPŮSOBŮ VÝROBY	
 HLINÍKOVÝCH ODLITKŮ PRO AUTOMOBILOVÝ PRŮMYSL	22
4.1 Historie tlakového liti	22
5. NOVÉ, PROGRESIVNÍ ZPŮSOBY VÝROBY ODLITKŮ.....	25
5.1 Lití s krystalizací pod tlakem.....	25
5.2 Semisolid Metalworking.....	29
5.2.1 Rheocasting.....	30
5.2.2 Thixoforming.....	31
5.2.3 Thixomolding	33
6. DISKUSE POZNATKŮ	34
7. ZÁVĚR	35
8. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	36

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

α	substituční tuhý roztok křemíku v hliníku	
δ	povrchové napětí na hranici tavenina - zárodek	[N.m ⁻¹]
ν	úhel smáčení	
ΔG	změna Gibbsovy energie	[J]
ΔH	změna entalpie	[J]
V_m	molový objem plynu	[m ³ . mol ⁻¹]
M	molekulovou hmotnost krystalizující látky	[kg . mol ⁻¹]
V	objem	[m ³]
p	tlak	[Pa]
v	měrný objem	[m ³ · kg ⁻¹]
r	měrná plynová konstanta	[J . kg ⁻¹ K ⁻¹]
T	teplota	[K]
r_{KRIT}	kritická velikost zárodku	
R_m	mez pevnosti v tahu	[MPa]
ΔT	změna teploty	[K]
ΔV	změna objemu	[m ³]
Δp	změna tlaku	[Pa]
P_a	atmosferický tlak	[Pa]
L_{KR}	latentní krystalizační teplo	[Pa]

1. ÚVOD

Slévárenství je jedním z nejdůležitějších odvětví jak světového, tak i našeho průmyslu. Výroba odlitků v České republice je v posledních dvou letech převážně umocněna prudkým rozvojem automobilového průmyslu. České odlitky automobilových dílů si úspěšně nacházejí své zákazníky i v zahraničí a napomáhají tak tomu, že české slévárenství se stává skutečně jedním z nejvýznamnějších a nejúspěšnějších odvětví našeho hospodářství a nabývá tak už i evropského významu. Ačkoliv dominantní postavení v objemu výroby na trhu zaujímají slitiny železa (litina s kuličkovým grafitem, litina s lupínkovým grafitem, popř. ocel na odlitky apod.), slitiny neželezných kovů hliníku (Al), zinku (Zn), mědi (Cu), apod. vykazují největší růstový potenciál. Proto je v současné době snaha vyrábět odlitky, které v co největší míře plní požadavky zákazníků týkající se především kvality při současném zachování či zvýšení efektivnosti výroby a produktivity práce i s ohledem na ekologické požadavky.

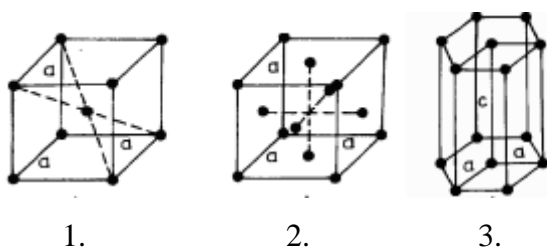
Ke splnění těchto cílů napomáhá i uplatňování nových metod výroby odlitků, kam se řadí např. metoda squeeze casting, rheocasting a thixocasting.

Na katedře strojírenské technologie Technické Univerzity TU v Liberci se v poslední době těmito metodami zabývají a byl navržen a vyroben pracovní nástroj, který se uplatňuje pro výrobu odlitků metodou squeeze casting. Touto problematikou se také zabývá tato bakalářská práce, která je na téma: „Nové metody výroby odlitků pro automobilový průmysl“.

2. KRYSTALIZACE KOVŮ A SLITIN

Každá látka má své typické vlastnosti a ty ji předurčují k použití do jednotlivých oborů. Materiály rozdělujeme do skupin a dále se zajímáme i o prvky. Samotné prvky sice tvoří základ všech materiálů, ale jsou jen omezeně technicky využívány. Mnohem větší rozmanitost typů materiálů, a tedy i vlastností, je u slitin a sloučenin prvků. Nejvíce prvků v periodické soustavě jsou kovy.

Kovy se výrazně liší od ostatních materiálů a jsou se slitinami v jedné skupině. Různé vlastnosti kovů jsou ovlivněny jejich atomovou strukturou. Vazební síly působí na fyzikální a mechanické vlastnosti jednotlivých kovů. Vazba kovů je těsně uspořádána a ovlivňuje vysoké zaplnění prostoru atomy. Krystalové struktury proto musí mít co největší souměrnost. Většina technicky významných kovů krystalizuje v soustavách, které jsou zobrazeny na obrázku 2.1.



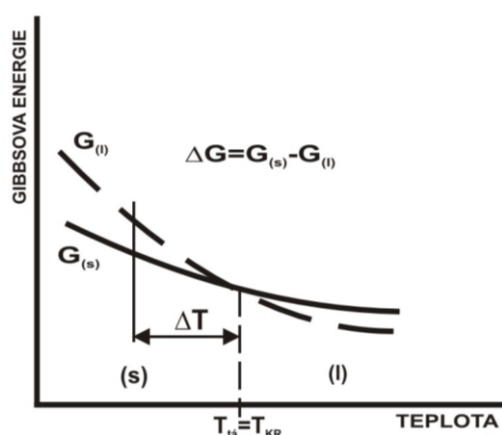
1. krychlová tělesně středěná, 2. krychlová plošně středěná,
3. šesterečná těsně uspořádaná

Obr. 2.1 Schémata krystalových struktur. [10]

Základní schopností kovů je tvořit slitiny. Ty potom mají kovové vlastnosti. Ke slitinám, u kterých je základem kov se přidávají další kovové nebo nekovové prvky. Těmito látkami získají odlišné vlastnosti od základního kovu. Všechny přidávané prvky jsou takzvané přísady neboli legury. Stane se, že slitina obsahuje i jiné nežádoucí prvky, což jsou přímíšeniny a nečistoty.

Proces, při kterém vzniká z původní kapalně fáze tuhá, se nazývá krystalizace. Tuhnutím se tavenina mění v krystalickou fázi s geometricky pravidelným uspořádáním krystalické mřížky. Při tomto ději dosáhne tavenina stabilního stavu. Je to při změně vnějších podmínek, což je změna teploty. Při stabilním stavu je minimální hodnota změny Gibbsovy energie ΔG , která daný děj Na obr. 2.2 je uvedeno schéma průběhu Gibbsovy energie kapalně a tuhé fáze v závislosti na teplotě. Z obrázku je zřejmé, že

stabilnější je ta fáze, která má při určité teplotě nižší hodnotu Gibbsovy energie. Protože daný děj může probíhat jen tehdy, když změna Gibbsovy energie je záporná nebo Gibbsova energie klesá. Z obrázku je také zřejmé, že pro průběh krystalizace, resp. pro splnění $\Delta G = G_{(s)} - G_{(l)} < 0$, je nutné tzv. podchlazení taveniny. To značí, že krystalizace taveniny nezačíná při teplotě krystalizace T_{KR} , ale při teplotě nižší. Přechlazení je nutné také proto, aby byla zajištěna dynamika krystalizačního pochodu proti uvolňujícímu se latentnímu teplu krystalizace. [1]



Obr. 2.2 Závislost Gibbsovy energie tuhé a kapalné fáze na teplotě [1]

2.1 Homogenní a heterogenní nukleace

Podle způsobu vzniku se rozlišuje krystalizace slitin vzniklá:

1. homogenní nukleace;
2. heterogenní nukleace.

Při homogenní nukleaci se vytvoří krystalická fáze z vlastních krystalizačních zárodků. Při heterogenní nukleaci vznikne z krystalizace na aktivních částicích a dochází k ní v praktických podmínkách. Je to tvorba krystalizačních zárodků při poklesu teploty pod teplotu tuhnutí. Schopnost tvořit krystalizační zárodky se nazývá krystalizační schopnost. Ke vzniku krystalizace je potřeba určité podchlazení taveniny a tato schopnost se udává počtem krystalizačních zárodků vytvořených v jednotce objemu za 1 s. Homogenní nukleace je tvorba nové krystalické látky při podchlazení, ale bez

pomoci cizích zárodků v tavenině. Při podchlazení taveniny z fáze tekuté ve fázi tuhou dochází k pravidelnému uspořádání atomů.

Práce potřebná k vytvoření zárodků z kapalně fáze do tuhé fáze je úměrná změně Gibbsovy energie ΔG_Z :

$$\Delta G_z = V_z \cdot \Delta G_v + S_z \cdot \sigma, \quad (2.1)$$

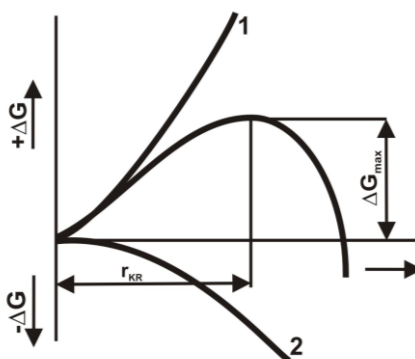
kde značí: ΔG_v - změnu Gibbsovy energie pro objem zárodku [$\text{J} \cdot \text{m}^{-3}$];

V_z - objem zárodku [m^3];

S_z - povrch zárodku [m^2];

σ - povrchové napětí zárodku [$\text{N} \cdot \text{m}^{-1}$].

Pro krystalizaci je nutné nejen vytvoření zárodku, ale také jeho velikost (r_{KRIT}). Vznikne-li při krystalizaci zárodek a je-li jeho velikost menší než r_{KRIT} je nebezpečí, že termodynamické poměry v tavenině ho zničí (rozpustí). Na obr. 2.3 je uvedena závislost kritické velikosti zárodku na změně Gibbsovy energie. Z obrázku jsou zřejmé tři křivky. Křivka 1 udává Gibbsovu energii potřebnou k vytvoření povrchu zárodku. Křivka 2 je Gibbsova energie potřebná ke vzniku objemu zárodku. Třetí křivka udává celkovou energii, která je potřeba k vytvoření kritické velikosti zárodku r_{KRIT} . Pak nastává situace, že začne plnit funkci druhý člen uvedené rovnice (2.1) a ΔG_Z začíná klesat a zárodek dále roste [1].



- 1 - Gibbsova energie potřebná k vytvoření povrchu zárodku;
- 2 - Gibbsova energie potřebná ke vzniku objemu zárodku.

Obr. 2.3 Závislost kritické velikosti zárodku na změně Gibbsovy energie [1]

Kritická velikost zárodku

Z obr. 2.3 je vidět, že r_{KRIT} odpovídá extrému na křivce - první derivace je rovna 0, tj. tečna je rovnoběžná s osou x; $d\Delta G_Z/dr = 0 \rightarrow r_{KRIT}$.

$$r_{KRIT} = \frac{(2M \cdot T_{KR} \cdot \sigma_{z-t})}{(L_{KR} \cdot \rho \cdot \Delta T)}, \quad (2.2)$$

což lze jednoduše zapsat ve tvaru:

$$r_{KRIT} = \frac{(k \cdot \sigma_{z-t})}{\Delta T}, \quad (2.3)$$

kde značí: M - molekulovou hmotnost krystalizující látky [$\text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$];

T_{KR} - teplotu krystalizace [K];

ρ - hustotu krystalizující látky [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$];

L_{KR} - latentní krystalizační teplo [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$];

ΔT – podchlazení [K];

σ_{z-t} - mezifázové napětí mezi zárodkem a taveninou;

k - konstantu (zahrnující vliv M; T_{KR} , L_{KR} , ρ , ΔT).

Kritická velikost zárodku závisí:

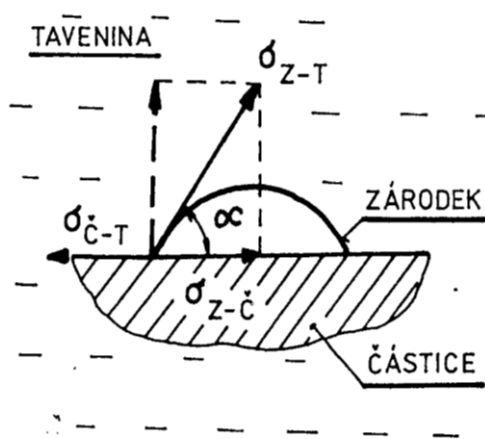
1. podchlazení;
2. povrchové napětí mezi zárodkem a taveninou.

Kritickou velikost potřebujeme co nejmenší proto, že drobnější struktura vykazuje větší mechanické hodnoty. Vyžadujeme malé povrchové napětí a velké podchlazení. Slévárenská forma ovlivňuje hodnotu podchlazení. Je velký rozdíl mezi formou z kovu nebo ze sádry. Kovové formy dosahují velkého přechlazení, naopak sádrové formy vykazují malé podchlazení. Z kovové formy vznikne drobnější struktura odlitku, protože ochlazování je rychlé a krystaly nestačí vyrůst. Odlitky ze sádrové formy mají hrubozrnější strukturu. Teplo se ze sádrové formy odvádí z taveniny pomalu a krystaly vzniknou veliké. Hodnota podchlazení je u homogenní nukleace cca $0,2 T_{KR}$.

Homogenní nukleace se v praxi téměř nevyskytuje. Čistota taveniny není nikdy ideální, vždy obsahuje cizí částice, jako jsou zbytky strusky, úlomky pecní vyzdívky, oxidy, křemičitany a jiné možné příměsi. Pro usnadnění krystalizace někdy lze přidat očkovač a modifikátory. Při heterogenní krystalizaci stačí podchlazení $0,02T_{KR}$. Následující obrázek 2.4 ukazuje schéma zárodka tvořícího se na cizí částici. Kritickou velikost zárodka stanovíme podobně jako u homogenní nukleace.

$$(r_{KRIT})_{HET} = (r_{KRIT})_{HOM} \cdot \sin \alpha, \quad (2.4)$$

kde značí: α - úhel smáčení cizí částice taveninou.



Obr. 2.4 Schéma růstu krystalizačního zárodka na cizí částici [1]

Požadavky na částici, aby mohla splňovat funkci krystalizačního zárodka, jsou:

- a) teplota tavení částice musí být větší než teplota tavení odlévaného kovu;
- b) musí mít příbuznou krystalickou mřížku;
- c) částice musí být co nejvíce smáčivá;
- d) částice a tavenina musí mít stejnou hustotu.

V praxi nejčastěji vyžadujeme, aby r_{KRIT} bylo co nejmenší, to lze splnit:

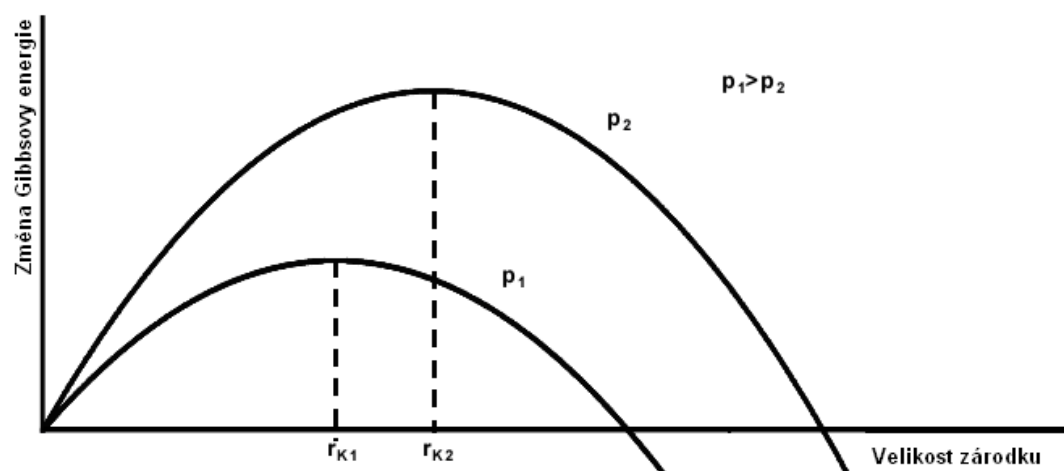
1. velkým podchlazením (ΔT), tj. volit formu s velkou hodnotou tepelné akumulace b_F ;
2. očkovat taveninu;
3. mechanicky ovlivňovat krystalizaci, např. zvýšeným tlakem, vibracemi formy.

Růst krystalu na stabilních zárodcích začíná hned po nukleaci. Krystal neroste z krystalického zárodka stejnoměrně, ale jenom v určitých krystalografických směrech

přednostně. Útvar, který vznikne se nazývá dendrit. Má primární, sekundární a terciární osy a vytvoří stromčkovitý a kapradinový útvar. Podle intenzity odvodu tepla se určí stupeň podchlazení taveniny ve slévárenské formě. Růst krystalu je ovlivněn mnoha faktory, například rychlostí ochlazování taveniny, příměsemi ať rozpustnými nebo nerozpustnými. Tyto faktory ovlivňují vnitřní stavbu dendritů i jejich povrch.

2. 2. Specifika krystalizace při zvýšeném tlaku

Kritickou velikost zárodku ovlivňuje podchlazení taveniny při tlakovém lití. Dále velikost zárodku ovlivňuje akumulární schopnost kovové formy a působící tlak na krystalizující taveninu. Na vznik malého krystalizačního zárodku má hlavně vliv zvýšený tlak. Čím je tlak vyšší, tím je vyšší počet zárodků a výsledná krystalizace jemnější. Na obrázku 2.5 je znázorněn vliv tlaku na krystalizující taveninu, a vyplývá to, že čím působíme větším tlakem, tím je krystalická velikost zárodku menší.



Obr.2.5 Vliv tlaku na kritickou velikost krystalizačního zárodku [9]

Z pokusů vyplývá, že největší vliv tlaku je při přeměně na tuhou fázi, přičemž nejdůležitější faktor je změna objemu. Podle Frenklina se z taveniny pod tlakem odstraňuje volný objem v důsledku eliminace děr. Tlak působí na taveninu tak, že se zmenší celkový objem při stále stejné teplotě a tavenina se přemění na krystalickou fázi. Vliv tlaku na teplotu krystalizace kovů a jejich slitin na teplotu likvidu nebo solidu vyjadřuje Clausius-Clapeyronova rovnice. [9]

$$\frac{dT}{dp} = \frac{T \cdot (V_L - V_S)}{\Delta H^0_{L,S}}, \quad (2.5)$$

kde značí: dT/dp - diferenciální koeficient udávající změnu teploty krystalizace v závislosti na tlaku;

$\Delta H^0_{L,S}$ - změnu entalpie při krystalizaci [$\text{J} \cdot \text{mol}^{-1}$];

$(V_L - V_S)$ - rozdíl molových objemů v kapalném a tuhém stavu [$\text{m}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$];

T - teplotu a krystalizaci [K].

3. PŘEHLED SLÉVÁRENSKÝCH SLITIN

Metody výroby odlitků pro automobilový průmysl lze rozdělit podle jejich účelu na odlitky lité do pískových forem, resp. na odlitky z grafitických litin a na odlitky ze slitin neželezných kovů. Sem se řadí odlitky ze slitin hliníku, slitin hořčíku a slitin zinku. Všechny tyto slitiny se odlévají vysokotlakým litím. Slitiny hliníku a hořčíku i do pískových forem. Dominantní postavení mají slitiny hliníku, které mohou být odlévány gravitačně do kovové formy, nízkotlakým a vysokotlakým způsobem. Výrobě odlitků ze slitin hliníku je v této práci věnována značná pozornost. Nejdůležitější faktory, které ovlivňují výsledek tavby hliníkových slitin;

1. tavicí teplota;
2. tlak jakým je kov vstřikován do formy;
3. účinek roztaveného kovu na materiál formy.

3.1 Slitiny hliníku

Hliník a jeho slitiny mají tyto vlastnosti: nízká hmotnost, velká pevnost, dobrá elektrická vodivost, odolnost proti korozi. Tento prvek krystalizuje v mřížce kubické plošně centrované, je výhodný tím, že je dobře tvárný. Odolává korozi, protože na povrchu se vytváří vrstvička oxidu, tento děj znázorňuje rovnice (3.1).



Proto se slitiny hliníku používají ve slévárenství a pro tváření. Největší využití spočívá v tom, že lze změnit mechanické vlastnosti hliníku jako zvýšení pevnosti, tvrdosti, zlepšení únavových vlastností a zvýšení odolnosti proti tečení a opotřebení. Tohoto dosáhneme pomocí jiných kovů. Tím však ovlivníme jiné vlastnosti, svařitelnost, obrobitelnost, slévatelnost, odolnost proti korozi a elektrickou vodivost.

Hliníkové slitiny se řadí k nepoužívanějším konstrukčním kovovým materiálům. Největší uplatnění našly především v automobilovém průmyslu. Pro jejich nízkou hmotnost umožňují snížení spotřeby paliva a vznik škodlivých emisí.

K dosažení potřebných vlastností hliníku se používají tzv. *legúry*, které se přidávají do čistého hliníku jednotlivě nebo hromadně. Nepoužívanější legúry

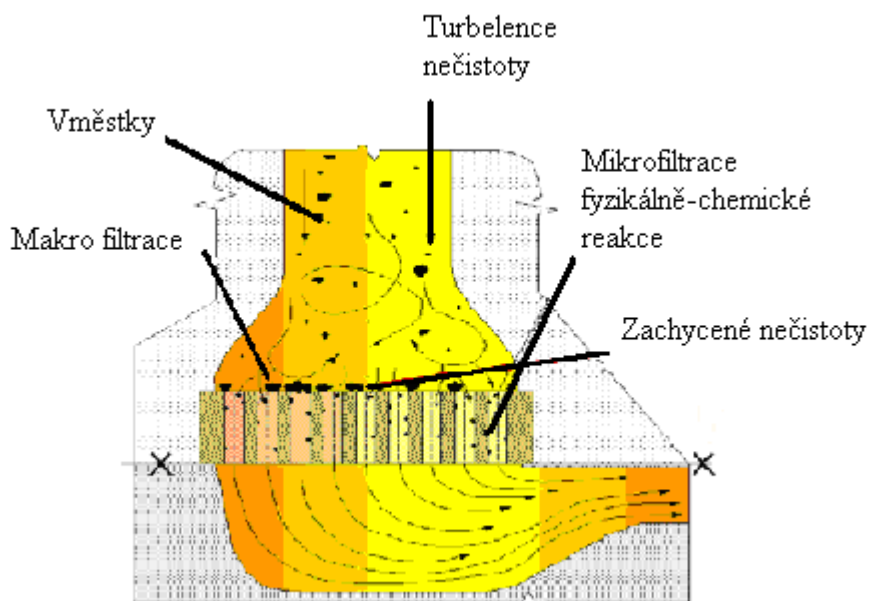
(přídavné prvky) jsou: křemík (Si), hořčík (Mg), měď (Cu), zinek (Zn), které tvoří slévárenské slitiny hliníku [2].

Strukturu vzniklou pomocí jednoho nebo více prvků můžeme předpokládat pomocí rovnovážného diagramu. Po přidání legur ve větším množství, než je potřeba, se již nemůže tvořit tuhý roztok a tyto prvky se vylučují v podobě sekundární fáze s různou morfologií a různého chemického složení.

Prvky, které přidáme, rozdělujeme na dvě základní skupiny legúry a příměsi. Mezi legúry patří Si, Cu, mangan (Mn), Mg, nikl (Ni), titan (Ti). Prvky této skupiny mají pozitivní vliv na slitiny hliníku. Mezi příměsi spadá železo (Fe), chróm (Cr), Zn, olovo (Pb), cín (Sn).

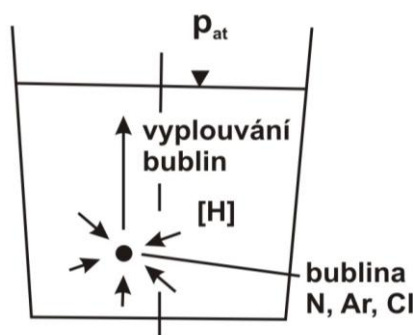
Vliv teploty na taveninu slitin hliníku, je vhodné, aby teploty taveniny se pohybovala kolem 750°C. Teplota taveniny by neměla přesáhnout 780°C. K tomu se používají termočlánky ponořené do taveniny. Když teplotu přesáhneme, může dojít ke zvýšené oxidaci, naplynění (zvýšený obsah rozpuštěného vodíku), zvýšený propal prvků, nebo omezení účinnosti očkovačů. Pokud je však teplota nízká dochází ke tvorbě intermetalických (kalových) fází. Které nelze ohřevem rozpustit. Pokles teploty může vzniknout v tavicí peci během dlouhodobého udržování, v transportní pánvi, v udržovací peci nebo při odlévání.

Rařinace-čiřtění a sniřžení obsahu vměstků, mezi základní způsoby rařinace patří odstátí taveniny, vynášení vměstků pomocí plynových bublin, chemickou vazbou s využitím krycích a rařinačních solí. Jedná se o chloridové a fluoritové soli s přísadou aktivních komponentů, tím dochází k reakci mezi nimi a taveninou. Čímřž je naruřeno povrchové napětí mezi kovem a oxidy. Nečistoty se pak vyplaví na hladinu ve formě strusky. Poslední způsob jak rařinovat taveninu je pomocí řiltrace-mechanickému zachycování. Řiltry jsou tkaninové, keramické, nebo se může jednat o kovová řítka. Jejich využití je při přelévání taveniny z transportní pánve do udržovací pece, nebo přímo ve formách ve vtokovém systému. Tato metoda je zobrazena na obr. 3.1 [8].



Obr. 3.1 Schéma použití filtru během lití [8]

Naplynění, u hliníkových slitin je největší problém vodík. Ten se dostává do taveniny z vlhkosti, ze vzduchu, nebo z pece a je vázan na oxidy. Vodík tvoří 97% plynů v tavenině. Jeho obsah závisí na vsázkových surovinách, druhu tavící pece a druhu vlhkosti solí. Odstranění vodíku z taveniny je velmi komplikované a drahé. Jedním ze způsobů jak toho dosáhnout je pomocí probublávání inertních nebo aktivních plynů: N, Ar, Cl, F, viz schéma na obr. 3.2.



Obr.3.2 Znázornění volného vodíku v Al slitině [1]

Další způsob je přidáním odplyňovacích tablet, prášků, nebo granulí. Aplikace těchto látek je na dno nádoby, reakce dojde na hladinu a poté dojde ke stáhnutí strusky.

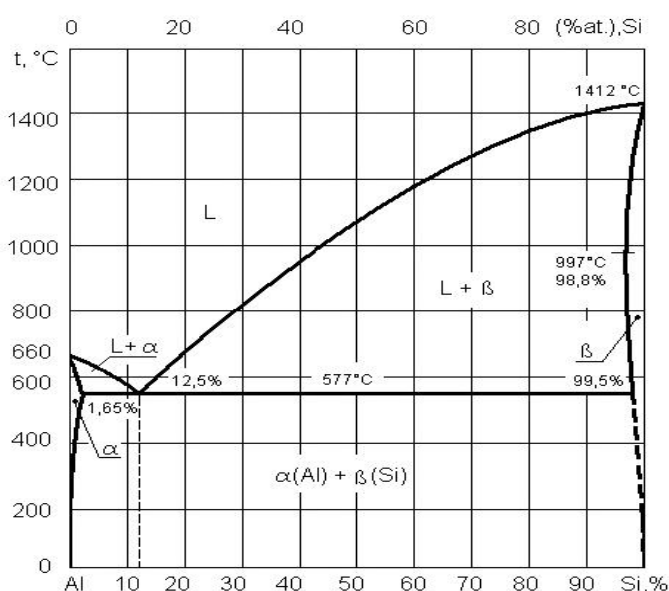
3.1.1 Rozdělení slitin hliníku

Slitiny hliníku můžeme dělit podle několika kritérií viz. obrázek 3.3. Jednou z možností je podle způsobu zpracování a to na tvářené a slévarenské. Dále dle toho, zda jsou schopny zvýšit své pevnostní charakteristiky, je dělíme na vytvrditelné a nevytvrditelné. V této práci je věnována největší pozornost slitinám slévarenským.



Obr. 3.3 Klasifikace slitin hliníku [4]

Slitiny hliníku s křemíkem (siluminy) – jsou nejpoužívanějšími slévarenskými slitinami. Na obr. 3.4 je rovnovážný diagram systému Al-Si. Nemodifikovaný eutektický křemík, který se nerozpustí v tuhém roztoku, vytváří tuhé jehlice v roztaveném hliníku. Tím dojde ke zpevnění základní matrice a zároveň se koncentruje napětí ve struktuře.

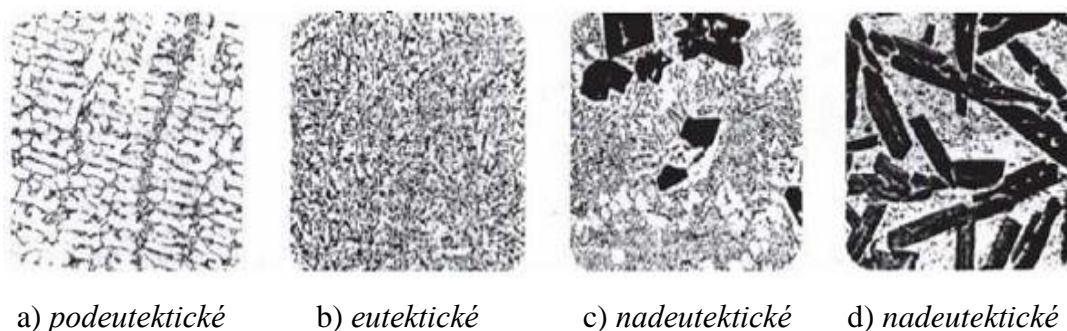


tavenina (L); α , β - tuhé roztoky
 teploty tání: čistý hliník 660 °C; čistý křemík 1412 °C

Obr. 3.4 Rovnovážný diagram Al-Si (nemodifikovaná tavenina) [1]

Siluminy mají velmi dobré slévárenské vlastnosti, výbornou zabíhavost, nízký sklon ke tvorbě k tvorbě staženin při lití. S malým množstvím přidaného stroncia (dále jen Sr) patří k nejvýznamnějším slévárenským slitinám. Tenkostěnné odlitky při tlakovém lití mohou mít tloušťku do 2,5 mm.

Slitiny Al - Si rozdělujeme na podeutektické, eutektické a nadeutektické. Podeutektické slitiny jsou dobře slévatelné, jsou náchylné k tvorbě trhlin za tepla, mají obsah křemíku 4,5 až 10 %. Eutektické s obsahem 10 až 13% mají největší pevnost, úzký interval tuhnutí a sklon k soustředným staženinám. Nadeutektické používáme v automobilovém průmyslu na výrobu pístů spalovacích motorů. Mají obsah 12 až 25% Si. Na obr. 3.5 jsou uvedeny struktury výše uvedených typů slitin [5].



Obr. 3.5 Charakteristika struktury slitin Al-Si [5]

Slitiny hliníku s křemíkem a hořčíkem – jsou to slitiny typu Al-Si-Mg. Jsou podeutektického typu, při běžné ochlazovací rychlosti se hořčík vylučuje jako Mg_2Si . Hořčík je zde jako hlavní legující prvek v rozsahu 9 až 12%, svou přítomností ovlivňuje na slévatelnost a zlepšuje mechanické vlastnosti. Největší vliv má na zvýšení odolnosti proti korozi, snadno se leští, dává jim trvanlivý povrch a umožňuje zvyšování pevnosti ve vytvrzeném stavu. Čím vyšší je obsah Mg tím vyšší je tvrdost. Lze odlévat Al-Mg i bez přísad, tzv. Hydronálie. Tyto slitiny mají vysokou odolnost proti korozi, chemickým vlivům a vynikají výbornými mechanickými vlastnostmi. Dají se dobře leštit, ale velmi špatně se slévají a mají náchylnost k trhlinám

Slitiny hliníku s mědí (duraly) – jsou to velmi používané slitiny hliníku pro tváření. Měď je považována za jeden z nejpoužívanějších prvků v hliníkových slitinách díky schopnosti rozpustit se v hliníku a díky svým zpevňujícím vlastnostem. Všechny slitiny Al-Cu jsou běžně vytvrditelné a vhodné pro lití do kokil i pod tlakem. Slitina je

náchylná k trhlinám za tepla. Má špatnou zabíhavost, svařitelnost a nízkou odolnost proti korozi, proto musí být povrchově chráněna. Průmyslové slitiny hliníku obsahují měď jako základní příměs, nebo mohou působit společně s dalšími prvky.

Další prvky, které se vyskytují u Al slitin

Mangan (Mn)– Tepelně nezpevněné slitiny obsahující mangan mají značný průmyslový význam. V menších množstvích se přidává do slitin tepelně vytvrditelných i nevytvrditelných. Celkově mangan zvyšuje pevnost a tvrdost tvářených slitin. Přidává se do slitiny, aby se snížila škodlivost železa v rozsahu 0,3 až 0,8 %

Zinek (Zn) – Zlepšuje zabíhavost, obrobitelnost a zvyšuje tekutost slitin. Při tlakovém lití snižuje lepení taveniny na formu. S obsahem 2 až 3 % se mírně zlepší mechanické vlastnosti. Při vyšším obsahu roste sklon ke vzniku trhlin.

Fosfor (P) – je vhodný jako modifikátor pro nadeutektické slitiny. Pro jiné slitiny se nepoužívá. Fosfor s hliníkem vytvářejí fosfid hlinitý AlP, s vysokým bodem tavení, který slouží jako aktivní podložka při krystalizaci primárního Si. Přítomnost také zvyšuje pevnost vazebních sil atomů křemíku.

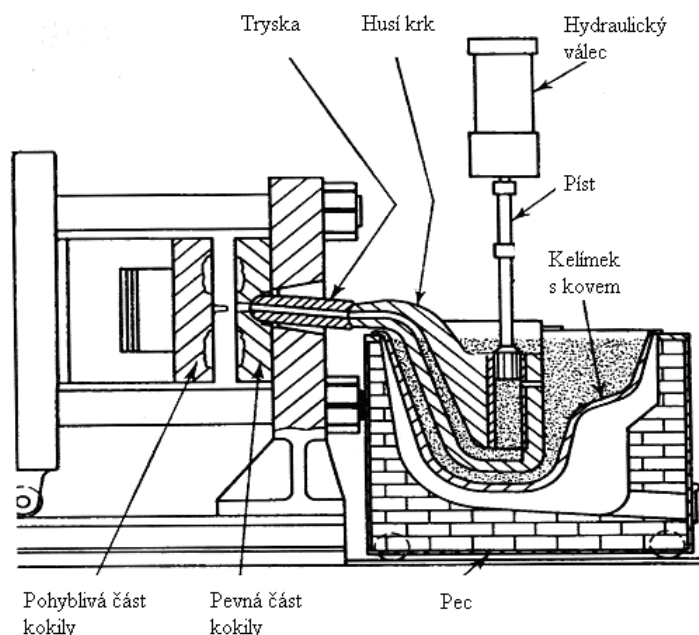
Železo (Fe) – je téměř vždy ve slitinách hliníku přítomné. Dostává se tam z ocelových nástrojů. Zlepšuje slévatelnost, zato však velmi výrazně snižuje odolnost proti korozi. Je přidáváno do slitin Al-Mg na zvýšení vysokoteplotní pevnosti.

4. CHARAKTERISTIKA STÁVAJÍCÍCH ZPŮSOBŮ VÝROBY HLINÍKOVÝCH ODLITKŮ PRO AUTOMOBILOVÝ PRŮMYSL

Tato kapitola je zaměřena na charakteristiku stávajících způsobů výroby odlitků pro automobilový průmysl, které lze uplatnit především v progresivních metodách. Mezi nejpoužívanější metodu patří tlakové lití. Vyrábějí se tenkostěnné a tvarově náročné odlitky.

4.1 Historie tlakového lití

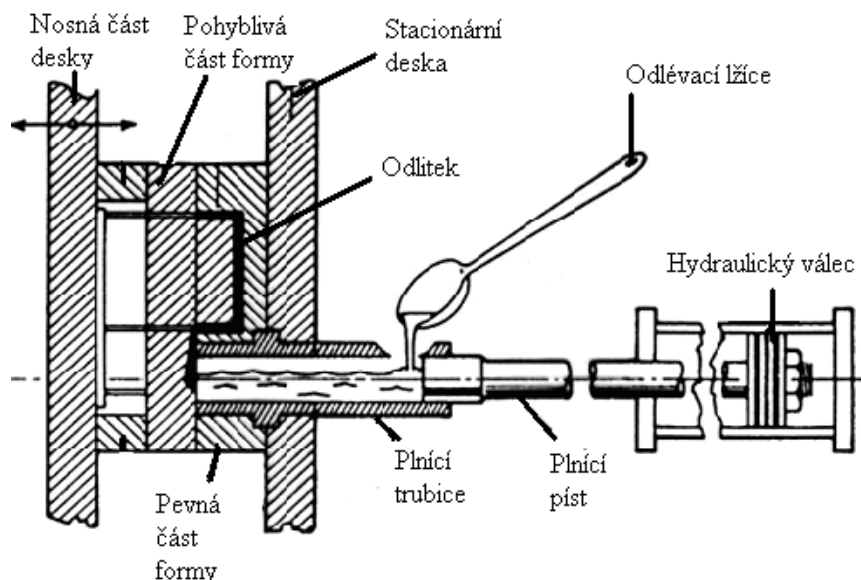
Technologie lití pod tlakem vznikla v roce 1838 a poprvé byla použita pro tiskařský průmysl. Konkrétně pro výrobu tiskařských písmen. Od roku 1894 se začala používat ve strojírenství. První tlakové stroje měly teplou tlakovou komoru. Jedná se o stroje s ponořenou plnicí komorou v tavenině, případně se ohřívají jinou metodou. Tento tlakový stroj je zobrazen na obrázku číslo 4.1.



Obr. 4.1. Lící stroj s teplou tlakovou komorou z roku 1838 [6]

O zdokonalení se nejvíce zasloužil Ing. Polák, který získal několik patentů a to po celém světě. Zdokonalení spočívá v tom, že se kelímek s taveninou oddělil od stroje a každé zalití do plnicí formy probíhalo pomocí speciální odlévací lžice. Schéma tlakového stroje se studenou komorou je na obrázku číslo 4.2. Roztavený kov se pak

pomocí pístu dopravil přímo do dutiny formy. Postupně se zjistilo, že studená plnicí komora je vhodná pro odlévání lehkých slitin. Tyto konstrukce a technické provedení se neustále zdokonalují. První tlakové lící stroje se studenou plnicí komorou se vyvinuly především k odlévání mosazi. [7]



Obr. 4.2. Lící stroj s studenou tlakovou komorou [6]

Konstrukce tlakové komory, může být vertikální nebo horizontální. V praxi se pro výrobu drobných odlitků používá komora vertikální, neboť stroje mají lepší pracovní výkonnost a jsou jednodušší. Použití výpočetní techniky umožnilo lépe nastavit technologické parametry. Dnešní tlakové stroje se mohou vyznačovat specifickou konstrukcí na dopravu taveniny do dutiny formy. Využíváme to při odlévání slitin hořčíku, nebo při ovládání vakua ve formě. Vakuové tlakové lití se označuje Vacural. Protože celý proces probíhá ve vakuu, odlitky neobsahují oxidické vměstky, plynouu porezitu a mají lepší mechanické vlastnosti než výroba běžnou metodou tlakového lití.

Základní charakteristika tlakového lití je náhrada gravitačního metalostatického tlaku silovým působením lisovacího pístu na taveninu v plnicí komoře. Na taveninu působí tlak v rozmezí 2 až 500 MPa, který je vyvolán pístem, ta proudí vtokovou soustavou do dutiny formy velmi vysokou rychlostí. Po naplnění formy začíná proces tuhnutí. Poslední fáze spočívá ve vyjmutí odlitku. Velkou předností této technologie je výroba složitých výrobků. Nejpoužívanější tlakové stroje jsou ty se studenou komorou, neboť v nich lze odlévat více druhů slitin. Další výhodou spočívá v tom, že plnicí komora není pod hladinou roztavené slitiny. To nám dává možnost roztavit menší množství

kovu. Technologie se studenou komorou je obecně více používána než s teplou komorou.

Výrobní proces lití odlitků do kovových forem je velmi příznivý, protože je možné vyrábět odlitky složitých tvarů s velkou přesností a minimálními přídávky na obrábění. Velmi důležitá je jemnozrnná krystalická struktura tlakově litých odlitků a to je způsobeno dvěma základními faktory. Prvním je vysokou akumulací schopností kovové formy a druhým vysokým tlakem působícím na taveninu, který způsobuje její tzv. termické podchlazení. Mezi nevýhody tlakového lití patří porozita odlitků, která má vliv na jejich těsnost. Donedávna byla metoda tlakového lití do kovových forem považována za nejvyšší technologický stupeň, především pro výrobu tvarově náročných odlitků. Pro nové technologie je nutná úprava stávajících tlakových strojů. K těmto novým metodám se řadí squeeze casting, rhecasting, thixocasting [7].

5. NOVÉ, PROGRESIVNÍ ZPŮSOBY VÝROBY ODLITKŮ

Mezi progresivní technologie odlévání řadíme všechny metody výroby odlitků, kromě klasického odlévání do pískových forem. Náplň této kapitoly spočívá v hodnocení struktury a mechanických vlastností u odlitků litých s krystalizací pod tlakem, nebo litých v polotuhém stavu.

5.1 Lití s krystalizací pod tlakem

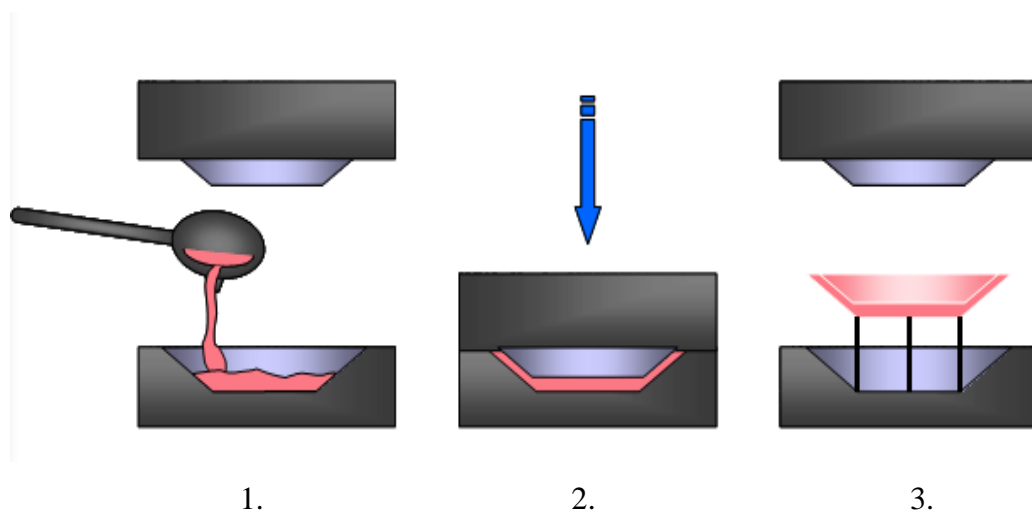
Metoda tlakového lití s krystalizací, neboli squeeze casting je stará téměř 100 let. Rozšíření této metody je po celém světě. Technologicky je nejvíce podobná vysokotlakému lití. Její hlavní výhoda spočívá v pomalém plnění formy bez turbulence a v úniku plynu z dutiny formy. Rychlost plnění je okolo 0,5 metrů za sekundu, tudíž nedochází k turbulenci taveniny. Hodnoty tlaku, který působí na taveninu se pohybuje v rozmezí 50 až 300 MPa a má velký vliv na krystalickou strukturu odlitku. Odlitky jsou bez porezity a mohou být velmi namáhány díky jejich velmi dobrým mechanickým vlastnostem. Netvoří se zde staženiny, nebo jsou velmi malé. Proto je vhodné použití při výrobě odlitků s tepelnými uzly, s rozdílnou tloušťkou stěn. K čemuž se využívá tlakový stroj, který je vybaven speciálním přídatným zařízením a upravenou slévarenskou formou.

Mechanické vlastnosti těchto součástí jsou v podstatě lepší než při klasickém tlakovém lití nebo gravitačním lití do kovové formy. Mez kluzu je zvýšena o 10-15% a mez únavy až o 50-80%. Rozměrová přesnost je podobná nízkotlakému lití: 0,25 mm na 100 mm až 0,6 mm na 500 mm. Je navíc potvrzeno, že komponenty ze squeeze castingu mají lepší svařitelnost a tepelné zpracování.

Zjemnění zrna je příčinou vnitřního přemístování kovu při kompenzaci smrštění. Hrubé dendrity a jejich větve se lámou a tyto úlomky se stávají dalšími krystalickými zárodky.

Získání žádané mikrostruktury lze dosáhnout řízením dominantních provozních parametrů. Nukleární činidla mohou být použita, ale běžně jich není třeba. Podstatný předpoklad pro použití této technologie je vhodný lící stroj, správné dimenzování lící formy a vhodné procesní parametry. Průběh této metody má několik fází, nejprve se tavenina odlíje do jedné poloviny slévarenské formy. Ta může být jakéhokoliv tvaru.

Poté lisovnick (resp. tvarový razník) stlačí taveninu. Působí vysokým tlakem, ale jen velmi malou dobu. Nakonec dojde k odlehčení a vyndání odlitého výrobku z formy. Popsaný postup je znázorněn na obr. 5.1.



- 1 - Nalítí taveniny do spodní části formy; 2 - Stlačení horní části formy – vznik odlitku;
3 - Otevření formy – vyhazovače vyhodí odlitek z formy.

Obr. 5.1. Schéma metody squeeze casting [11]

Použití je limitováno kvůli vlastnostem procesu a konstrukci kokily. Maximální váha odlitku není většinou víc jak 10 kg.

U této techniky jsou velmi dimenzované zářezy a tím je možné klidné (neboli laminární) plnění. Forma se před samotným odléváním nijak nepřehřívá, tudíž vyrovnání teploty mezi taveninou a formou je velmi intenzivní. Ochlazování ve stavu kapalném je větší.

Lze použít běžné slévárenské slitiny, ale nejrozšířenější se tato technologie stala u slitin hliníkových. K nesporným výhodám této metody patří, že odlitky neobsahují plynné vměstky, a že nedochází k segregaci přísadových prvků. Použitý tlak zvyšuje slévateľnost slitin, což umožňuje odlévat nejen všechny obvyklé slévárenské slitiny, ale dokonce i slitiny určené pro tváření. Produktivita práce je na vysoké hodnotě, neboť odlitky neobsahují žádnou vtokovou soustavu, a ani nálitky. Vliv nečistot na vlastnosti materiálu není tak výrazný jako u jiných slévárenských metod, proto lze používat i suroviny se zvýšenou koncentrací nežádoucích prvků, např. při recyklaci.

Je možné vyrobit odlitky tenkostěnné, tak i silnostěnné. Tady je však nutná závislost na vysoké rychlosti ochlazování.

Touto metodou jsme schopni odlít specifické odlitky, jako jsou třeba disky kol, písty spalovacích motorů, různé pevnostně namáhané díly jako např. bloky spalovacích motorů. V praxi se je tato technologie využívána při výrobě bloku spalovacího motoru Porsche Boxter, viz obr. 5.2. Pro odlití části motoru je použita slitina $AlSi9Cu3$ se zalitými vložkami z kompozitního materiálu na bázi hliníku s 25% částic křemíku a 5% výstužných vláken Al_2O_3 . Dokonalé zalití je umožněno zpomaleným plněním formy a infiltrace odlévané taveniny do povrchu vložek založených do formy.

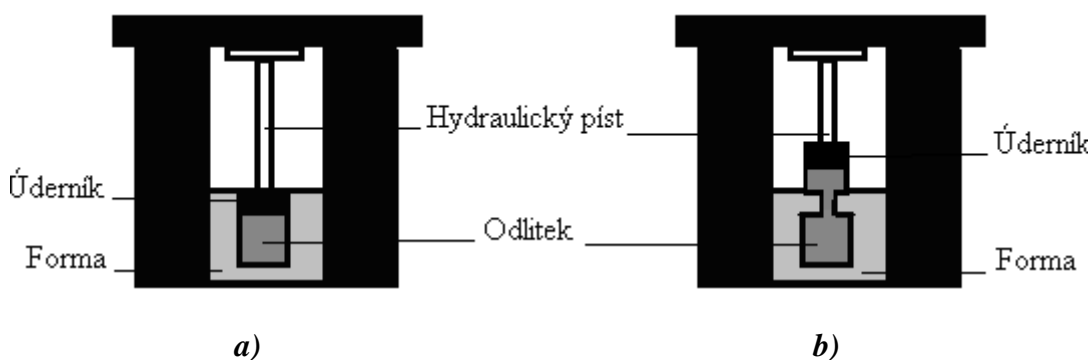


Obr. 5.2. Blok motoru Porsche Boxter [12]

Nevýhodou technologie squeeze casting je poměrně dlouhé provádění cyklu, použitý tlak musí být dost velký, aby nevznikla plynová pórovitost. Velikost tlaku je závislá na tloušťce stěny odlitku. Horní hranice tlaku je tlak, nad nímž se už jeho vliv neprojevuje. Dále lze zvýšit intenzitu tlaku jeho působením z různých míst např. ze dvou nebo dokonce více protilehlých stran. Tímto způsobem lze eliminovat pokles tlaku s rostoucí vzdáleností od místa jeho působení a zároveň jej homogenizovat. Velmi důležitým faktorem, který ovlivňuje krystalizaci je teplota. Teplotám všech součástí

formy a pístu se musí věnovat vysoká pozornost, protože je velmi důležité, aby ke krystalizaci nedošlo před působením tlaku. Začne-li tlak působit ještě nad teplotou likvidu, má budoucí odlitek vyšší mechanické vlastnosti než při začátku působení tlaku pod teplotou likvidu. Lící teploty jsou nižší než při jiných metodách, protože nutné zabezpečit vysokou tekutost kovu ve formě. Mezi nalitím taveniny a začátkem působení tlaku je třeba udělat malou prodlevu k uklidnění taveniny a umožnění úniku plynu. Samozřejmě se také jedná o finanční stránku, vysoké investiční náklady, ale ty jsou později kompenzovány velkosériovou výrobou jakostních odlitků.

Základní rozdělení této technologie je na metodu přímou a nepřímou. Schémata těchto metod jsou na obr. 5.3. Rozdíl mezi nimi je v tom, že u přímé metody se tavenina dostane do dutiny bez působení tlaku, u metody nepřímé je to za působení pístu. Přímá metoda v podstatě připomíná gravitační lití do formy a tváření kovu v zápustce a byla vyvinuta jako první. V současnosti je její použití vhodné pro jednoduché odlitky, jako např. písty, měřidla a hlavní brzdové válce.

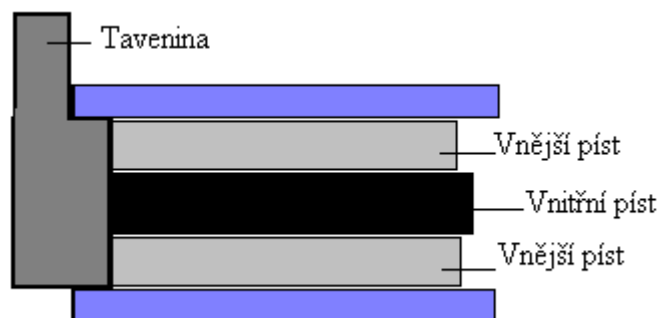


a) přímá metoda squeeze casting, b) nepřímá metoda squeeze casting

Obr. 5.3. Metody squeeze casting [10]

U nepřímé metody se tavenina dostane do formy pomocí pístu. Ten má vodorovnou nebo svislou polohu. Tento postup je vhodnější pro potřeby průmyslu, neboť lze vyrobit odlitky komplikovaných tvarů. Horizontální poloha pístu je podobná vysokotlakému lití, ale rozdíl je v naříznutí, které má vliv na konečný výsledek krystalizace. Postřik kokily není vyžadován, protože po celou dobu působí tlak. Minimální velikost odlitku je 4 mm. Další omezení složitosti odlitků může být kvůli vyhození odlíku. Mezi technologií nepřímého squeeze castingu patří také lokální squeeze casting. S touto metodou nás poprvé seznámila firma General Motors pod názvem Acurad-proces. Jde o dvojici sousedících lisovacích pístů. Zprvu vnějšího a

zadruhé vnitřního pístu, jak je patrné z obr. 5.4. Principem této technologie je v určitém časovém okamžiku vtlačení speciálního pístu do pomocného nálitku. Lisování kovu začíná současným pohybem obou pístů. V okamžiku, kdy odpor taveniny díky ztuhlé vrstvě kovu dosáhne určité hodnoty se vnější píst zastaví a v lisování pokračuje pouze píst vnitřní, přičemž láme ztuhlou vrstvu a zvyšuje tlak na kov [10].



Obr. 5.4. Metoda lokálního squeeze castingu [10]

Jednou z možností této speciální metody je v tom, že taveninu dostaneme do dutiny formy vynuceným prouděním pomocí vakua. Poté se v místech kde hrozí vznik porózity (ředin) je vtlačen speciální píst.

5.2 Semisolid Metalworking

Semi-solid metalworking (dále jen SSM) je poslední licí technika, která kombinuje výhody tekutého a tuhého stavu kovu. Metodou lze vyrábět masivní tavené odlitky s téměř čistými tvary a vynikající rozměrovou přesností. Ačkoli je kov tekutý, zachovává si vlastnosti pevné struktury. Tato technologie je známa pod názvy thixocasting, rheocasting, thixoforming nebo thixomolding. Růst dendritů má velký vliv na vlastnosti kovů jako tvárnost. SSM je vhodná metoda na výrobu tlakově litých materiálových odlitků, včetně lehkých nebo vysoce pevnostních komponentů. Nejpoužívanější jsou u slitin z hliníku, mědi nebo hořčíku. Můžou být také odlévány grafitické litiny, nebo měkké nerezové oceli. Hliníkové slitiny jsou nejvíce používány na lití bloku motorů, olejová čerpadla. U hořčíkových slitin je nejvíce používán thixoforming.

Vznik této metody se datuje na přelom 60 a 70 léta minulého století v Metal Institut of the Technology v Ohio vycházely z nauky o tečení a deformaci těles neboli Rheologie. V roce 1971 Angličan Spencer v rámci své doktorské práce provedl experiment, když ohřál slitinu Sn- 15% Pb a za stálého míchání byla pomalu ochlazována až na 50 až 60 % tuhé fáze a poté prudce zchladil. Zjistil, že primární struktura, která byla za normálních podmínek dendritická, se změnila na nedendritickou – sferoidální [7].

5.2.1 Rheocasting

Rheocasting neboli rheoodlévání probíhá při teplotách nacházejících se v intervalu tuhnutí. Cílem je dosáhnout v porovnání s komerčními způsoby lití jemnější strukturu. Při tomto odlévání je využit fyzikální jev, při kterém se z taveniny, která se míchá, vznikne poměrně vysokotekutá kašovitá kapalina. Neustálé míchání znemožňuje vznik dendritické struktury, místo toho vznikají částice globulárního tvaru. Je to tzv. rušená krystalizace. Míchání zvyšuje thixotropní vlastnosti taveniny tzn. čím silnější je pohyb, tím je už částečně tekutá struktura tekutější. Tavenina je udržována nad teplotou likvidu a poté je míchána prutem, aby došlo k vzniku žádoucí kuličkové mikrostruktury. Nakonec dojde k následnému ochlazení na teplotu lití. Tato technologie je mnohem jednodušší, je zde méně prostojů než u normálního lití. Výrobky vyrobené touto technologií mají vysokou integritu, tvar blízký konečnému tvaru odlitku. V tažnosti jsou tyto výrobky srovnatelné s squeeze Castingem, metoda rheocastingu je však rychlejší. Aplikace rheolití je výhodná při technologických odlitcích, kde se zúročí výhody rheoodlévání.

Základní rozdělení je na dvě metody;

Metoda přímá: Do plnicí komory tlakového licího stroje se dávkuje tekutá rheoslitina.

Metoda nepřímá: Nejdříve se rheoslitina odleje do ingotů válcového tvaru. Ty jsou později nařezané na válečky přesných tvarů, podle typu slévárenského zařízení. Každý váleček se nejprve ohřeje na teplotu solidu (aby se neroztavil) a v tomto stavu se vkládá do tlakové komory stroje pro tlakové odlévání. Metoda je velmi podobná thixocastingu.

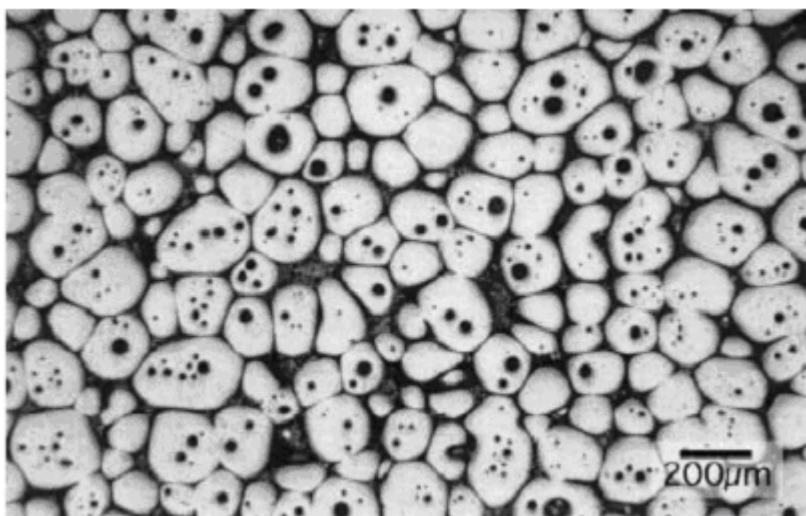
Odlitky rheoodléváním mají tyto vlastnosti:

a) vysoký stupeň homogenity;

- b) jemná rovnoměrná struktura;
- c) snížení sklonu tvorby trhlin;
- d) zlepšení mechanických vlastností.

5.2.2 Thixoforming

Tixotropní stav materiálu má polotuhé skupenství, to znamená, že teplota se nachází mezi teplotou likvidu a solidu. Je velmi měkký a dá se krájet nožem. Obsahuje zhruba polovinu krystalické fáze, tudíž je polotuhý. Polotovary se ohřívají na teplotu 578°C a vloží se do formy tlakového stroje a jsou vtlačeny do dutiny formy. Po ztuhnutí je vidět globulární struktura, která je zobrazena na obrázku 5.5. Vznikne neporézní, velmi celistvý odlitek, jen s jemnými otřepy. Neporéznost je díky nízkým teplotám. Použitý stroj musí být speciálně upraven, pro ohřev, abychom mohli vložit polotovar. Je vhodné zařadit do pracovního procesu robotická zařízení pro lepší manipulaci, a abychom docílili lepší přesnosti při odlévání.



Obr.5.5 Struktura globulárního tvaru krystalu u slitiny AlSi7Mg získaná metodou Thixocasting [13]

Thixocasting je modifikovaná metoda SSM. Tato metoda má několik modifikací, které vidíme na obrázku 5.5. Je to proces založený na specificky připraveném materiálu. Nejprve se odlíje speciální polotovar ve formě válečku tzv. „tablety“. Poté se tablety ohřejí do polotuhého stavu, tento stav je mezi 50 až 60% tuhé fáze. Polotuhý materiál je pomocí ramene stroje vložen do tlakového stroje. Metoda je

velmi podobná Rheolití. Odlitky vyrobené touto technologií mají velkou konzistenci. Použití Thixoformovaných dílů je za účelem snížení hmotnosti. Největší uplatnění této metody je v automobilovém průmyslu. Maximální hmotnost odlitku je do 7 kg. Disky kol vyrobené touto technologií mají vynikající odolnost proti únavě. Jako hlavní nevýhodou je výroba tablet, která je velmi nákladná. A vzniklý odpad nelze dále recyklovat.

V tab. 5.1 jsou uvedeny mechanické vlastnosti odlitků ze slitiny Al6Si2Mg0,5Fe vyrobeny různými technologiemi odlévání. A v tab. 5.2 je uveden přehled mechanických vlastností odlitků z vybraných slitin vyráběných odlišnými metodami lití.

Tab.5.1 Mechanické vlastnosti odlitků ze slitiny Al6Si2Mg0,5Fe.

Slitina	Metoda odlévání	R _m [MPa]	Prodloužení [%]
Al6Si2Mg0,5Fe	HPDC	310	2,6
	RDC	330	2,7
	RDC + T5	360	2,0

Poznámka: HPDC (high pressure die-casting) – vysokotlaké lití; T5 – tepelné zpracování; RDC (rheo die-casting) – rheocasting [7].

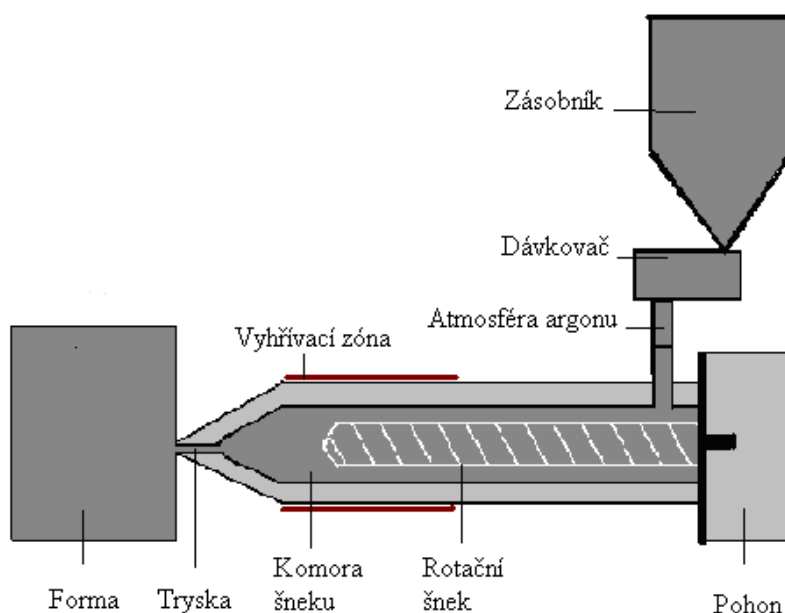
Tab.5.2 Přehled mechanických vlastnosti odlitků ze slitin AlSi7Mg a AlZn7Mg0,5MnFeCr.

Slitina	Způsob odlévání	R _m [MPa]	Tažnost [%]	Lomová houževnatost
AlSi7Mg	kokilové	250	7,0	15,2
	s krystalizací pod tlakem	345	9,3	28,5
	thixocasting	340	8,9	26,3
AlZn7Mg0,5MnFeCr	kokilové	525	4,0	17,2
	s krystalizací pod tlakem *)	550	6,0	25,2
	thixocasting	540	5,5	24,1

Poznámka: *) krystalizační tlak 150 MPa

5.2.3 Thixomolding

Tento proces je založený na speciálně zpracované konzistenci materiálu. Použití je převážně u hořčíkových slitin. Hořčík, který je ve formě granulí se nasype do zásobníku šnekového stroje. V ústí zásobníku je vháněn ochranný plyn, který má za úkol zabránit oxidaci. Pomocí šneku a ohřívání dutiny komory dojde k natavení granulí. Jakmile je dost nahromaděni taveniny v přední části šneku, dojde k pohybu šroubu vpřed a tavenina je vstříknuta do dutiny formy. Konzistence taveniny připomíná plastelínu, tudíž je v polotuhém stavu. Teplota se nachází mezi likvidem a solidem. Na obrázku 5.6 je znázorněn šnekový stroj [13].



Obr. 5.6 Metody Thixomolding [13]

6. DISKUSE POZNATKŮ

Jak je dnes ze současného trendu a vývoje automobilového průmyslu zřejmé, je snahou vyrábět automobily, které se vyznačují především malou hustotou a tím i spotřebou pohonných hmot. K tomu přispívají díly, které jsou zhotoveny ze slitin hliníku. Konstrukční díly, resp. odlitky ze slitin hliníku se vyrábějí nejčastěji vysokotlakým litím. Odlitky vyráběné touto metodou jsou velmi porézní i přes důkladné odplynování. Tato poróznost snižuje mechanické vlastnosti. Proto v současné době byly vyvinuty nové metody. Tyto metody přispívají k hutnosti vyráběných odlitků a též výrazně snižují poróznost odlitků. V zahraničí se používají pro výrobu automobilových dílů, které mají vykazovat vyšší mechanické hodnoty. Jsou to např. disky kol, bloky spalovacích motorů, písty, ramena závěsů kol, atd. Bohužel u nás tato metoda není téměř používaná. Pouze ve ŠKODA-Auto Mladá Boleslav je aplikována metoda lokálního squeeze casting při výrobě bloků motorů ze slitin hliníku vysokotlakým litím, která je ještě doplněna vakuováním dutiny formy.

Současně je nutno konstatovat, že pro tyto progresivní technologie jsou důležitá speciální zařízení a také speciálně zkonstruované slévárenské formy. Z ekonomického hlediska to jsou nákladné položky, které vyžadují velkosériovost výroby. To je asi jedním z hlavních příčin, proč tyto metody u nás zatím nebyly zavedeny.

Stejně důležitým úkolem je při uplatnění těchto metod věnovat značnou pozornost přípravě taveniny a jejímu metalurgickému ošetření, především rafinaci, stažení strusky a odplynění. Zde nemusí být prováděno očkování a modifikace taveniny, které vedou ke zjemnění struktury po krystalizaci a tím ke zvýšení mechanických vlastností odlitku. Tento efekt zabezpečí zvýšený tlak působící na taveninu při krystalizaci (metoda squeeze casting). Při metodě rheocasting se hlavní důraz kladen na přípravu polotovaru, včetně získání potřebné struktury. Protože při zpracování materiálu se nepřekročí tavicí teplota, naopak se používá materiál v téměř „kašovitém stavu“, pak vyrobený díl vykazuje krystalizaci, jako má použitý polotovar.

Tyto základní poznatky mohou být v blízké době využity i v našem průmyslu.

7. ZÁVĚR

V této bakalářské práci jsem se zaměřil na sledování problematiky odlévání vysoce namáhaných odlitků. V úvodní části je popsána charakteristika vzniku krystalizačního zárodku a vliv tlaku na jeho velikost. Je zde vysvětlena příprava nejpoužívanějších slévárenských slitin, mezi které patří slitiny hliníku, kterým je věnována velká pozornost. Dále jsou zde ukázány stávající způsoby výroby komplikovaných odlitků. Největší pozornost je však věnována novým metodám výroby komplikovaných odlitků. Úkolem této práce bylo poukázat na nové progresivní metody lití odlitků pro automobilový průmysl. Na základě řešení této bakalářské práce lze shrnout tyto dílčí poznatky:

1. Progresivní metody (squeeze casting, rheocasting a thixocasting), které jsou uplatňované především v zahraničí vedou ke zhotovování konstrukčních dílů s vyššími mechanickými hodnotami. Např. při odlévání odlitků ze slitiny Al6Si2Mg0,5Fe vysokotlakým způsobem se dosahuje pevnost v tahu cca 310 MPa. Pokud se použije metoda rheocasting pak takto zpracovaný materiál dosahuje pevnost 330 MPa. Pokud je ještě po metodě rheocasting použito tepelné zpracování T5 (umělé stárnutí bez HŽ, stabilizace tvaru a rozměrů, zlepšení obrobitelnosti, odstranění vnitřního pnutí, teplota 205-260 °C, po dobu 7-10 hod.), pak materiál vykazuje pevnost cca 360 MPa.

2. Očkování a modifikace taveniny, které vedou ke zjemnění struktury po krystalizaci a tím ke zvýšení mechanických vlastností odlitku u nových progresivních metod nemusí být prováděny. Tento efekt zabezpečí zvýšený tlak.

3. V současné době je nutno také věnovat pozornost uplatňování nových, perspektivních slitin hliníku. Mezi tyto slitiny se řadí např. Castasil 37 (AlSi9Mn), tato slitina v tloušťkách odlitku 2 až 3 mm vyrobeného metodou vysokotlakého lití, dosahuje pevnosti v kluzu $R_{p0,2}$ cca 150 MPa, a pevnost v tahu R_m 300 MPa, vykazuje poměrně velkou tažnost A_5 až 14 [%]. Další perspektivní slitinou hliníku je Magsimal 59 (AlMg5Si2Mn), která pro tloušťky odlitků < 2 mm, které jsou též vyrobené metodou vysokotlakého lití, dosahuje pevnosti v kluzu $R_{p0,2}$ cca 220 MPa, a pevnost v tahu R_m 300 MPa, vykazuje také poměrně velkou tažnost A_5 cca 15 [%]. Lze předpokládat, že v brzké době budou tyto slitiny uplatňovány i při výrobě dílů výše uvedenými perspektivními technologiemi.

8. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] NOVÁ, I.: Teorie slévání I. Liberec 2006 KSP FS, TU v Liberci ISBN 80-7372-149-X
- [2] GRUBEROVÁ, I., KOŘENÝ, R., LUKÁČ, I. : Zlievarenstvo neželezných kovů. 1. vyd. Praha 1988..
- [3] PLUHAŘ, J., PUŠKÁR, A., KOUTSKÝ, J., MACEK, K., BENEŠ, V.: Fyzikální metalurgie a mezní stavy materiálu. 1 vyd., Praha 1987.
- [4] PÍŠEK, F., JENÍČEK, L., RYŠ, P.: Nauka o materiálu I, Neželezné kovy, 2. vydání, Academia, Praha, 1973.
- [5] MICHNA, Š. a kol.: Encyklopedie hliníku, Prešov 2005, 700 s., ISBN 80-89041-88-4.
- [6] ROUČKA, J.: Metalurgie neželezných kovů, CERM, Brno, 2005, str. 3-25, 69-77, 101-102
- [7] ŠTEFAN, M., NOVÁ, I.: Technologie a zpracování kovových materiálů. 1.vyd. ISBN 978-80-89244-38-6
- [8] HERMAN, A.: Metalurgie slitin Al. Dostupné na WWW: <http://u12133.fsid.cvut.cz/podklady/TMSL/Slitiny%20Al.pdf>
- [9] NOVÁKOVÁ, I., NOVÁ, I., SEIDL, M. Sledování vlivu tlaku na strukturu vysokotlakých odlitků. [cit. 2006-06-19] Dostupné na WWW: <http://www.Metal2011.com/data/metal2006/sbornik/papera/32.pdf>
- [10] NOVÁKOVÁ, I., NOVÁ, I., HOŠEK, Z., EXNER, J.: Vliv tlaku na krystalizaci odlitků ze slitin hliníku. In: Mezinárodní konference PRO-TECH-MA, Acta Mechanica Slovaca Košice, roč. 82-B/2004, s.313 až 317 ISSN 1335-2393.
- [11] HERMAN, A.: Modifikace tlakoveho lití[cit. 2011-02-01]. Dostupné na WWW: http://u12133.fsid.cvut.cz/podklady/MPL/modifikace_tlakoveho_liti.pdf
- [12] KOUBEK, J.: Boxster posílil. [cit. 2006-06-19] Dostupné na WWW: <http://www.autoweb.cz/autonovinky-nova-auta/boxster-posilil/5677/>
- [13] MICHNA, Š.: Progresivní technologie odlévání. [cit. 2010-02-27] Dostupné na WWW: <http://www.stefanmichna.com/>

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. o právu autorském, zejména §60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL, v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

Datum: 27. 5. 2011

Podpis:

Declaration

I have been notified of the fact that Copyright Act No. 121/2000 Coll. applies to my thesis in full, in particular Section 60, School Work

I am fully aware that the Technical University of Liberec is not interfering in my copyright by using my thesis for the internal purposes of TUL.

If I use my thesis or grant a licence for its use, I am aware of the fact that I must inform TUL of this fact, in this case TUL has the right to seek that I pay the expenses invested in the creation of my thesis to the full amount.

I compiled the thesis on my own with the use of the acknowledged sources and on the basis of consultation with the head of the thesis and consultant.

Date: 27. 5 2011

Signature: